



ВИДЫ КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫЙ МАШИНЫ И РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РОТАЦИОННОГО МАШИНА

Нематов Эркинжон Хамроевич

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Каландаров Наврузбек Олимбаевич

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Received 24th Apr 2023, Accepted 13th May 2023, Online 13rd June 2023

Аннотация: В данной статье приведены сведения об оборудовании, используемом при измельчении сырья, их производительности, материальном балансе, ступенях измельчения, а также расчет геометрических размеров оборудования.

Ключевые слова: щековые дробилки, протирочные машины; валковые мельницы и бегуны, шаровые и стержневые мельницы, кольцевые, вибрационные, коллоидные мельницы, куски материала, повышения эффективности.

Все измельчающие машины делятся на дробилки и мельницы. Дробилки применяют для крупного и среднего дробления, мельницы - для среднего, мелкого, тонкого и коллоидного измельчения. Основные измельчающие машины подразделяются на следующие типы: щековые дробилки, гираторные, молотковые и дробилки ударного действия; протирочные машины; валковые мельницы и бегуны, шаровые и стержневые мельницы, кольцевые, вибрационные, коллоидные мельницы.

Ко всем измельчающим машинам предъявляют общие требования: равномерность кусков измельченного материала; удаление измельченных кусков из рабочего пространства; сведение к минимуму пылеобразования; непрерывная и автоматическая разгрузка; возможность регулирования степени измельчения и легкой смены быстро изнашивающихся частей; небольшой расход энергии на единицу продукции.

Щековые дробилки измельчают материал путем раздавливания и раскалывания в конической камере, образованной неподвижной и подвижной плитами, которые периодически сближаются. Раздавленный материал выпадает из дробилки во время обратного хода подвижной плиты.

Конструкция дробилки показана на рис. 1. Щеки дробилки снабжены съемными ребристыми плитами из износостойкой стали. Подвижная щека установлена на неподвижной оси и приводится

в колебательное движение от эксцентрикового вала при помощи шатуна, шарнирно связанного рычагами 12 с этой щекой и регулировочными клиньями 8 и 11. Перемещением клиньев при помощи болтов регулируют ширину выпускной щели и, следовательно, степень измельчения материала. С помощью тяги 13 и пружины 9 обеспечивается обратное движение щеки. Коленчатый рычаг, образуемый шатуном и распорными плитами, является основой конструкции дробилки и позволяет создавать очень большие давления.

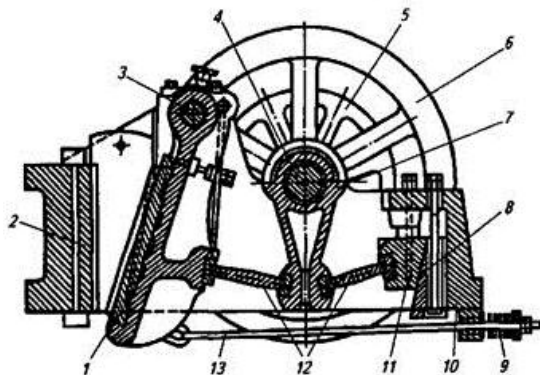


Рис. 1. Щековая дробилка.

1-подвижная щека, 2-неподвижная щека, 3-ось подвижной, 4-эксцентриковый вал, 5-шкив, 6-маховик, 7-шатун, 8,11-регулирующие клинья, 9-пружина, 10-станина, 12-рычаги, 13-тяги

Гиравационные (конусные) дробилки применяют для крупного, среднего и мелкого измельчения. Измельчение происходит путем непрерывного раздавливания и излома кусков материала между конической дробящей головкой и корпусом, который имеет форму усеченного конуса (рис.2). Дробящая головка установлена в корпусе дробилки с эксцентриситетом, в результате чего она совершает эксцентричное вращательное движение. Когда дробящая головка приближается к одной стороне корпуса, измельченный материал выпадает с противоположной стороны через расширяющуюся в это время кольцевую щель между корпусом и головкой.

Молотковые дробилки применяют, например, для измельчения костей при производстве кормов. Молотковая мельница представляет собой машину ударного действия, снабженную быстровращающимся диском с шарнирно прикрепленными к нему молотками (рис. 3). Материал поступает в дробилку через бункер и измельчается дробящими молотками, а также за счет ударов о броневые плиты. Измельченный материал удаляется через колосниковую решетку. Размеры отверстий колосниковой решетки определяют размеры измельченного материала.

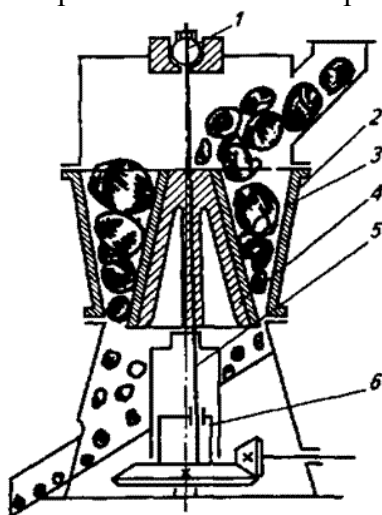


Рис. 2. Гиравационная дробилка.

1-шаровая опора, 2-корпус, 3-броневая плита, 4-головка, 5-вертикальный вал, 6-эксцентрик

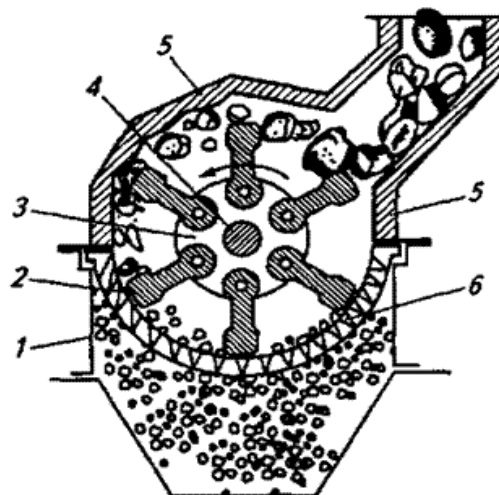


Рис. 3 Молотковая дробилка.

1-корпус, 2-дробящий молоток, 3-диск, 5-броневая плита, 6-колосниковая решетка

В дезинтеграторах и дисмембраторах на дисках по concentрическим окружностям расположены пальцы-била. Каждый ряд пальцев одного диска расположен с небольшим зазором между двумя рядами пальцев другого диска (рис.4). Материал поступает в машину через загрузочный бункер и измельчается под действием ударов вращающихся пальцев. Измельченный материал высыпается через разгрузочную воронку, расположенную в нижней части машины. Частота вращения дисков $200 \div 1200 \text{ мин}^{-1}$. Производительность таких машин колеблется от $0,5 \div 20 \text{ т/ч}$. Дисмембраторы в отличие от дезинтеграторов укомплектованы одним вращающимся диском. Роль второго диска выполняет крышка мельницы, на внутренней поверхности которой по concentрическим окружностям расположены ряды неподвижных пальцев.

Дисковые мельницы применяют для мелкого и тонкого дробления зерна, солода, жмыха, сухарей и др. Рабочими органами дисковых мельниц служат два вертикальных рифленых диска, один из которых неподвижный, а другой вращается на горизонтальном валу. Измельчаемый материал подается непрерывно в зазор между дисками, где и измельчается. Степень измельчения регулируется величиной зазора между дисками. Окружная скорость дисков при помоле зерна составляет $7 \div 8 \text{ м/с}$.

Молотки, плиты, диски и решетку изготовляют из изнсоустойчивой марганцовистой или углеродистой стали, на которую наплавляют твердый сплав.

Валковые мельницы, предназначенные для среднего, мелкого и тонкого измельчения, применяют в пищевой промышленности для дробления и помола зерна, солода, плодов, жмыха и т. д. Рабочими органами валковой мельницы служат горизонтальные валки. Дробилка может быть снабжена одним валком, вращающимся вокруг горизонтальной оси параллельно неподвижной рабочей щеке, либо двумя. В первом случае материал раздавливается между неподвижной щекой и вращающимся валком. Парные валки вращаются навстречу один другому, и раздавливание происходит между валками. Поверхность валков может быть гладкой, рифленой и зубчатой.

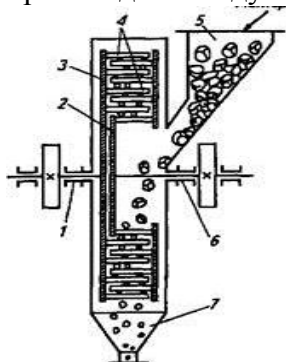


Рис.4. Схема дезинтегратора.

1, 6- валы; 2, 3 - диски; 4- пальцы-била; 5 - загрузочная воронка; 7-разгрузочная воронка

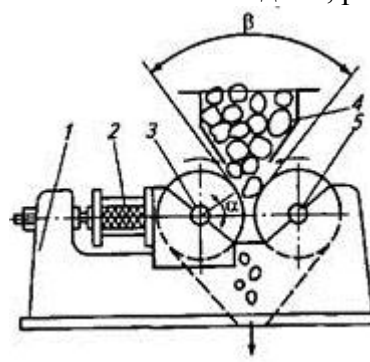


Рис.5. Валковая мельница.

1-шанина, 2-пружина, 3-подвижный валок, 4-бункер, 5-неподвижный валок

На рис. 5. представлена схема валковой мельницы. Подшипники валка 5 неподвижны, а валка 3-подвижны и удерживаются при помощи пружины 2, что позволяет валку 3 смещаться при попадании в мельницу твердых инородных тел. Размер кусков продукта определяется шириной щели между валками. Мельницу загружают непосредственно из бункера.

Куски материала захватываются вращающимися валками и раздавливаются. Для того чтобы кусок был захвачен валками и раздавливался, необходимо выполнение следующего условия:

$$\operatorname{tg} \alpha \leq f$$

где, α угол захвата, f коэффициент трения между куском и валком
или

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg} \varphi$$

где, φ угол трения.

Из выражения следует, что для захвата кусков материала гладкими валками необходимо, чтобы угол захвата был меньше угла трения материала φ ($\alpha < \varphi$). Учитывая, что угол $\beta = 2\alpha$, дроблению материала удовлетворяет условие $\beta = 2\varphi$.

В валковых дробилках угол захвата обычно составляет 18. Наибольший размер измельченных кусков в 20÷25 раз меньше диаметра валков. Предельная частота вращения валков (мин^{-1}), исходя из условия исключения проскальзывания кусков материала по поверхности валков,

$$n = 616 \sqrt{\frac{f}{g \rho_{\text{мс}} d_n D}}$$

где, f коэффициент трения материала о валок ($f = 0,3$), $\rho_{\text{мс}}$ плотность материала (кг/м^3), d_n размер кусков исходного материала (м), D диаметр валка (м).

Окружная скорость валков колеблется от 3÷6 м/с. Теоретическая производительность (т/ч) валковых мельниц.

$$Q = 0,2 \cdot \mu \cdot \rho_{\text{мс}} \cdot L \cdot D \cdot e \cdot n$$

где, μ коэффициент разрыхления измельчаемого материала ($\mu = 0,2 \div 0,3$), L длина валка (м), D диаметр валка (м), e половина зазора между валками (м).

Бегуны (рис.6) состоят, как правило, из двух жерновов (катков) и чаши, в которую загружается зерно. Жернова закреплены на вертикальном валу и вращаются вместе с ним. Кроме того, жернова одновременно вращаются вокруг горизонтальных осей за счет трения между их поверхностью и материалом, находящимся в чаше. Зерно измельчается раздавливанием и истиранием при на бегании на него жерновов.

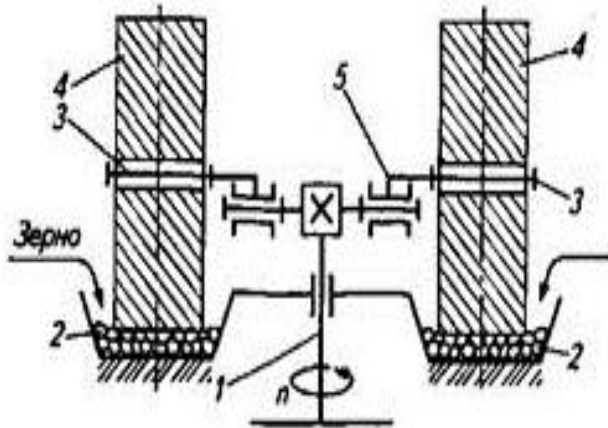


Рис.6. Бегуны

1-вертикальный вал, 2-чаши, 3-горизонтальные оси, 4-жернова (катки), 5-кривошип

Бегуны бывают с неподвижной чашей и вращающимися от привода катками; с вращающейся от привода чашей и свободно вращающимися катками. Бегуны с вращающейся чашей более быстходны ($20 \div 50 \text{ мин}^{-1}$).

Измельченный материал выгружается автоматически под действием центробежной силы.

Шаровые и стержневые мельницы, в которых продукт обрабатывается шарами или стержнями, находящимися вместе с ним в полном вращающемся барабане, покрытом изнутри бронированными плитами, применяют для тонкого измельчения.

Шаровая мельница (рис.7) загружается шарами и материалом одновременно. Шары изготовляют из стали, дибаза, фарфора и других твердых материалов. Размер шаров зависит от размеров измельчаемого материала. Диаметр стальных шаров 35÷175 мм. Корпус мельницы заполняют шарами на 30÷35 % его объема. Наряду с шарами используют также цилиндрические

стержни, оси которых располагают параллельно оси корпуса мельницы. В шаровых мельницах материал измельчается под действием ударов падающих шаров или стержней и путем истирания его между шарами или стержнями и внутренней поверхностью корпуса мельницы.

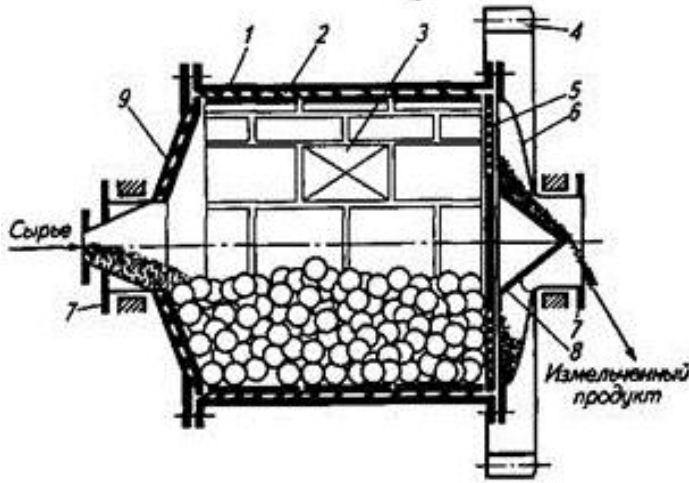


Рис.7. Шаровая мельница.

1-корпус барабана, 2-броневая плита, 3-люк, 4-приводная шестерня, 5-решетка, 6-крышка, 7-полус цапфы, 8-направляющий конус, 9-крышка.

При вращении шаровой мельницы вследствие трения между стенкой мельницы и шарами последние поднимаются в направлении вращения до того момента, пока угол подъема не превысит угла их естественного откоса, после чего скатываются вниз.

С увеличением скорости вращения мельницы возрастает центробежная сила и соответственно увеличивается угол подъема шаров до тех пор, пока составляющая силы веса шаров не превысит центробежную силу. При нарушении этого условия шары падают, описывая при падении некоторую параболическую кривую. При дальнейшем возрастании скорости вращения мельницы центробежная сила может настолько увеличиться, что шары будут вращаться вместе с мельницей. Обычно частоту вращения мельницы принимают равной % от n_{np} и вычисляют по формуле.

$$n_{np} = \sqrt{\frac{900g}{\pi^2 R}} \approx \frac{42.3}{\sqrt{D}}$$

Предельная частота вращения мельницы, при которой шары не будут падать,

$$n = \frac{32}{\sqrt{D}}$$

где, D диаметр барабана (м).

Производительность мельниц Q (т/ч) рассчитывают из условия выхода измельченных частиц заданного размера и определяют по приближенной формуле

$$Q = VKD^{0.6}$$

где, V вместимость барабана (m^3), K коэффициент пропорциональности, зависящий от среднего размера кусков исходного материала, $K=0,41 \div 1,31$ и возрастает с увеличением среднего размера частиц измельченного материала.

Кольцевые мельницы измельчают материал путем раздавливания и истирания роликами или шарами, катящимися по внутренней поверхности кольца. Ролики или шары прижимаются к поверхности кольца центробежной силой или пружинами. В зависимости от этого различают центробежные и пружинные мельницы.

Вибрационные мельницы, предназначенные для тонкого измельчения материала, представляют собой барабан, заполненный примерно на 70 % измельчающими телами, например шарами. Внутри барабана установлен вибратор, который сообщает вибрацию шарам и

измельчаемому материалу. Интенсивность работы такой мельницы зависит от частоты и амплитуды колебаний. Как правило, частота колебаний составляет $1500 \div 2500 \text{ мин}^{-1}$ при амплитуде $2 \div 4 \text{ мм}$.

Коллоидные мельницы используют для очень тонкого измельчения суспензий, которое проводят мокрым способом. Основные части коллоидной мельницы: корпус с коническим гнездом и ротор. Между конической поверхностью корпуса и поверхностью ротора имеется зазор, равный долям миллиметра. Ротор вращается с окружной скоростью $30 \div 120 \text{ м/с}$. В зазоре между корпусом и ротором твердые частицы суспензии измельчаются истиранием.

Основы теории процесса измельчения зерна в вальцовом станке. В мукомольном производстве степень измельчения зерна и его частиц в вальцовом станке оценивается коэффициентом извлечения k_u , который является функцией зазора между вальцами b и выражается следующей экспоненциальной зависимостью:

$$k_u = Ae^{-Bb}$$

где, b зазор между вальцами (м), e -основание натуральных логарифмов, A и B коэффициенты, зависящие от структурно-механических свойств зерна и геометрических и кинематических параметров вальцов.

Установлено, что на величину коэффициента извлечения при неизменном зазоре между вальцами оказывают влияние первоначальные размеры частиц измельчаемого продукта. При этом величина k_u находится в прямой зависимости от крупности частиц исходного материала.

В мукомольном производстве зерно измельчают в станках с рифленой или шероховатой (гладкой) поверхностью вальцов. С целью интенсификации процесса измельчения, повышения эффективности использования просеивающих машин при простых и двух сортных помолах пшеницы и ржи в дополнение к вальцовым станкам устанавливают бичевые машины, предназначенные для обработки продуктов после вальцовых станков или верхних сходов рассевов. Для производства овсяных и кукурузных хлопьев, а также для отделения зародыша применяют вальцовые станки (плющилки) с гладкими вальцами, работающими с одинаковой окружной скоростью.

Основные рабочие органы вальцового станка-цилиндрические вальцы равных диаметров, вращающиеся вокруг параллельных осей в противоположные стороны один навстречу другому, с разными угловыми скоростями.

Разрушение частиц происходит под действием их сжатия и сдвига. В зависимости от структурно-механических свойств частиц и соотношения между величиной межвальцового зазора b и размером измельчаемых частиц a разрушение их может произойти как за однократный пропуск между вальцами, так и многократный, что предопределяет степень измельчения зерна. Элементами рабочей поверхности мельничных вальцов могут быть рифли, наносимые резцами на поверхность, а также микроповерхностные неровности, образующиеся в результате абразивного шлифования или электроискровой обработки. Характеристика рабочих поверхностей вальцов зависит от совокупности требований, предъявляемых к отдельным технологическим операциям, составляющим процесс измельчения зерна. На драных системах применяют вальцы с рифельными поверхностями, а на размольных - при измельчении крупок и дунстов как шероховатые, так и рифельные вальцы.

Производительность вальцового станка-это фактическая пропускная способность при достижении заданной степени измельчения зерна или промежуточных продуктов размола. Пропускная способность совместно работающей пары нарезных вальцов теоретически может быть определена по формуле

$$Q = 3.6 \cdot \rho \cdot l(b + h)v_n \cdot \psi$$

где, ρ плотность измельчаемого продукта (кг/м^3), l длина вальца (м), b величина зазора между вальцами (м), h высота рифлей (м), для определения пропускной способности ненарезных вальцов в формуле значение $h=0$. ψ коэффициент объемного заполнения зоны, v_n средняя скорость продукта в зоне измельчения (м/с).

Скорость движения продукта в зоне измельчения в первом приближении можно считать равной полусумме окружных скоростей быстровращающегося и медленно вращающегося вальца. Однако в зоне измельчения гладких вальцов она определяется по формулам

$$v_n < \frac{2v_{\delta}}{i+1} \cos \alpha$$

$$v_n < \frac{2v_m}{i+1}$$

где, v_{δ} , v_m окружная скорость соответственно быстровращающегося и медленно вращающегося вальца (м/с), i степень измельчения, α угол захвата продукта вальцами (град).

Скорость зерна в зоне измельчения зависит от взаиморасположения рифлей вальцов. Причем с увеличением отношения окружных скоростей вальцов (при неизменной скорости быстровращающегося вальца) скорость движения зерна в зоне измельчения снижается. Это обстоятельство позволило предположить, что частицы продукта при выходе из зоны измельчения перемещаются с разными скоростями. Мелкие фракции движутся в межрифельном пространстве «быстрого» и «медленного» вальцов со скоростями равными соответственно скоростям этих вальцов, а остальные частицы продукта движутся в пространстве межвальцового зазора со скоростью, которая больше скорости v_m «медленного» вальца и меньше скорости v_{δ} «быстрого» вальца. В соответствии с этим скорость продукта (м/с) при выходе и измельчения равна

$$v_n = k_1 \cdot v_{\delta} + k_2 \cdot v_2(x) + k_3 \cdot v_m$$

где, $v_2(x)$ скорость продукта в пространстве межвальцового зазора (м/с), k_1 , k_2 , k_3 коэффициенты, показывающие, какая часть продукта движется соответственно со скоростями «быстрого» и «медленного» вальцов и со скоростью $v_2(x)$.

Причем распределение скоростей в пространстве зазора условно принято по прямой. С учетом сделанных допущений получена следующая зависимость:

$$v_n = k_1 \cdot v_{\delta} + k_2 \frac{v_{\delta} + v_m}{2} + k_3 \cdot v_m$$

Коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 зависят от шага P рифлей, их высоты h , в расположения рифлей и коэффициента заполнения межрифельных пространств (впадин между рифлями) и выражаются следующими зависимостями:

$$k_1 = \frac{0.432 \cdot P \cdot h \cdot l \cdot \psi_1 \cdot z_1 \cdot v_6}{Q_\phi}$$

$$k_3 = \frac{0.432 \cdot P \cdot h \cdot l \cdot \psi_3 \cdot z_2 \cdot v_m}{Q_\phi}$$

$$k_2 = 1 - k_1 - k_3$$

где, z_1, z_2 число рифлей на 1 см окружности вальцов, ψ_1, ψ_3 коэффициенты заполнения межрифельных пространств «быстровращающегося» и «медленновращающегося» вальцов и коэффициент заполнения зоны межвальцового зазора, Q_ϕ фактическая производительность вальцового станка (кг/сут), l длина вальца (м).

Экспериментальные исследования процесса измельчения в вальцовых станках при различных сочетаниях взаимного расположения рифле показывают, что взаиморасположение рифлей влияет не только на качество измельчения, но и на производительность вальцового станка.

Очевидно, что степень измельчения продукта зависит, при прочих равных условиях, от числа воздействий R_z рифлей на продукт за время τ пребывания его в зоне измельчения, определяемой длиной пути обработки. Зоной воздействия рифлей на продукт будет дуга L круга.

$$L = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180}$$

где, R радиус вальца (м), α — угол дуги (град).

Чтобы определить число воздействий рифлями «быстрого» вальца на продукт, нужно знать время прохождения продукта в рабочей зоне

$$L = v_n \cdot \tau$$

где, τ — время прохождения продукта в рабочей зоне (с).

За это время через зону пройдет число рифлей z «быстрого» вальца (или число воздействия R_z ,

$$R_z = (v_6 - v_m) \cdot \tau \cdot z = \frac{v_6 - v_m}{v_n} L \cdot z$$

Подставляя в уравнение значение L из формулы и значение v_n из формулы, после преобразования получим

$$R_z = \frac{2\pi}{180} \cdot R \cdot z \cdot \frac{i-1}{A_i+1} \cdot \alpha$$

Считая, что предельное значения угла α равна углу трения $\phi = \arctg f$, окончательно получим

$$R_z = \frac{2\pi}{180} \cdot R \cdot z \cdot \frac{i-1}{A_i+1} \cdot \arctg f$$

Уравнение показывает, что для вальцов при определенном числе рифлей z на 1 см и при постоянном дифференциале число воздействий R_z остается постоянной величиной. Отсюда следует, что R_z может увеличиваться или уменьшаться при постоянных R и z только при увеличении или уменьшении коэффициента соотношения скоростей быстро и медленновращающихся вальцов (дифференциала межвальцовой передачи) i .

Литература.

1. Вашкевич В.В., Горнец О.Б., Ильичев Г.Н. Технология и технология производства муки. – Барнаул: 2000.
2. Демский А.Б., Веденьев В.Ф. Оборудование для производства муки, крупы, комбикормов. Справочник. – М.: ДеЛи принт, 2005.
3. Nematov E., Kalandarov N., Sadillaeva S. MILL SYSTEM ROTARY ROLLER CYLINDERS. *Academicia Globe: Inderscience Research*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/UYMBD> Volume 3. Issue 3, Mar, 2022. P. 177-181.
4. Nematov E., Kalandarov N., Sadillaeva S. Requirements for the Use of Rotary Shafts Used on Roller Looms. <https://www.geniusjournals.org/index.php/esh/article/view/822> *Eurasian Scientific Herald*. Volume 6. March, 2022. P.70-72.
5. Садыков, И. Ш. (2023). Динамика Изменений Микроэлементарного Состава Эритроцитов Крови У Спортсменов С Различной Физической Нагрузкой. *Research Journal of Trauma and Disability Studies*, 2(2), 113-119.
6. Авизов, С. Р., Садыков, И. Ш., & Саломов, Б. Х. (2023). ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ *HLORELLA VULGARIS* В РАЦИОНЕ ПИТАНИЯ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ И ПРОФИЛАКТИКИ СПОРТСМЕНОВ С ТРАВМАМИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА. *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*, 15, 252-257.
7. Садыков, И. Ш., & Камалова, Ф. Р. (2021). ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНИЗМА ЖИВОТНЫХ ОТРАВЛЕННЫХ БИДЕРОНОМ. *Актуальные вопросы и перспективы развития науки, техники и технологии*,